

TD de Thermodynamique
Série n° 3

Exercice n° 1 : (Lundi)

On étudie une machine ditherme fonctionnant suivant le cycle de **Stirling**. On distingue dans ce cycle :

- deux transformations réversibles **isochores** (V_{\min} et V_{\max})
- deux transformations réversibles **isothermes** aux températures T_1 et T_2 ($T_1 < T_2$).

Le fluide décrivant ce cycle ABCDA (dans le sens trigonométrique) est assimilé à un **gaz parfait**.

- On donne :
- température de la source froide $T_1 = 276K$
 - température de la source chaude $T_2 = 293K$
 - rapport volumétrique $\frac{V_{\max}}{V_{\min}} = 3$
 - constante du gaz parfait $R = 8,32 \text{ J.mol}^{-1}.K^{-1}$
 - $C_v = 21 \text{ J.mol}^{-1}.K^{-1}$

1°) Quelle est la nature de chacune des transformations A-B, B-C, C-D et D-A ?

2°) Pour **une mole** de fluide :

a- Exprimer pour chacune des transformations le travail et la quantité de chaleur échangés, et calculer leurs valeurs numériques pour les transformations A-B et B-C.

b- Exprimer le travail total W échangé par cycle entre le fluide et le milieu extérieur. Le fonctionnement du cycle est –il moteur ou récepteur ? Justifier la réponse.

3°) On appelle Q_1 la quantité de chaleur prise à la source froide par une mole de fluide au cours d'un cycle. En utilisant les résultats de la question 2°), donner la valeur numérique de Q_1 .

Exercice n° 2 : (Samedi)

Un gaz parfait subit les transformations réversibles représentées sur le diagramme ci-dessous :

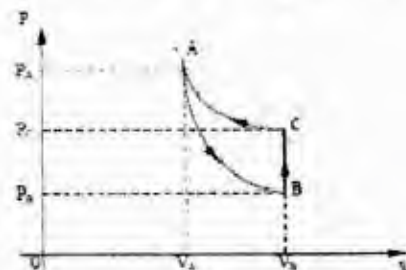
AB : détente adiabatique telle que $V_B = 2 V_A$

CA : compression isotherme

On donne :

$P_A = 1 \text{ bar}$, $V_A = 0,1 \text{ l}$, $T_A = 300 \text{ K}$

$C_p = 29 \text{ J.mol}^{-1}.K^{-1}$, et $\gamma = 1,4$.



1°) Comment appelle-t-on la transformation BC ?

2°) Calculer le nombre de moles n de ce gaz.

3°) Calculer la pression P_B et la température T_B du gaz au point B, la pression P_C du gaz au point C.

4°) Calculer la quantité de chaleur Q_{BC} et le travail W_{BC} reçus par le système pour la transformation BC.

5°) Appliquer le premier principe au cycle ABCA et en déduire le travail W_{AB} reçu par le gaz.

Exercice n° 3 : (Lundi)

Une pompe prélève de l'air dans l'atmosphère à une température de 27°C à la pression de 1 atm. Elle remplit en une minute une bouteille de 20 l de telle façon que la pression finale soit de 10 atm, l'air étant alors à une température de 57°C .

On admet : - que la transformation subie par l'air équivaut à deux transformations quasi -statiques :

- une transformation 1-2 à température constante

- une transformation 2-3 à volume constant.

- que l'air peut être assimilé à un gaz parfait, et que la bouteille était préalablement vide d'air.

1°) Calculer le nombre de moles d'air subissant ces transformations

2°) Calculer le volume initial V_1 occupé par cet air

3°) Déterminer l'état théorique du gaz (P_2 , V_2 , T_2) à la fin de la transformation 1-2

4°) Calculer la puissance minimale de la pompe.

Exercice n° 4 : (Samedi)

Une pompe à chaleur fonctionne entre deux sources : une **nappe souterraine** qui constitue la source froide et **l'eau du circuit de chauffage** qui constitue la source chaude.

Le fluide utilisé dans cette pompe est de l'air (gaz parfait) de $C_p = 29,1 \text{ J.K}^{-1}.\text{mol}^{-1}$, et $\gamma = 1,4$.

L'air de la pompe à chaleur décrit le cycle de transformations réversibles suivant :

- une **compression adiabatique** de l'état initial A ($P_A = 10^5 \text{ Pa}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$) à l'état B ($P_B = 2,2 \cdot 10^5 \text{ Pa}$)

- une transformation **isobare** de l'état B à C ($T_C = 67^\circ\text{C}$) où l'air reçoit de la source chaude une quantité Q_1

- une **détente adiabatique** de l'état C à l'état D ($P_D = P_A$)

- une transformation **isobare** de l'état D à A où l'air reçoit de la source froide une quantité de chaleur Q_2

On effectuera les calculs relatifs à une mole d'air.

→ cède à la source chaude.

1°) Placer les points B, C, D sur le diagramme de Clapeyron

2°) Calculer les volumes V_A et V_B

3°) Calculer les températures T_B et T_D

4°) Pour chaque cycle, calculer :

a - les quantités de chaleur Q_1 et Q_2

b - le travail W reçu au cours de la totalité du cycle.

5°) Exprimer l'efficacité ϵ de la pompe à chaleur en fonction des données, et calculer sa valeur.

Exercice n° 5 : (Lundi)

Le fonctionnement du **moteur à explosion** peut être modélisé par le cycle théorique de **Beau de Rochas**. Ce cycle peut se décomposer en quatre temps :

le premier temps : une **compression adiabatique** réversible AB du mélange combustible avec $a = \frac{V_A}{V_B}$

O.B

le deuxième temps : une **compression isochore** BC, résultant de la combustion du mélange

le troisième temps : une **détente adiabatique** selon CD. En D, le piston est au point mort bas : $V_D = V_A$

le quatrième temps : un **refroidissement isochore** DA.

La quantité de carburant injecté étant négligeable par rapport à celle de l'air aspiré. Le cycle est étudié pour une mole d'air assimilé à un gaz parfait.

1°) Tracer l'allure de $P(V)$ du cycle

2°) Déterminer les volumes V_A et V_B aux points A et B.

3°) Calculer la pression P_B et la température T_B au point B

4°) Exprimer, en fonction des températures aux extrémités du cycle, les quantités de chaleur algébriques Q_{AB} , Q_{BC} , Q_{CD} et Q_{DA} échangées avec le milieu extérieur au cours de chacune des quatre phases. Calculer leurs valeurs numériques. En déduire par application du Premier Principe, la valeur algébrique W_{cycle} .

5°) Calculer le rendement η de ce cycle.

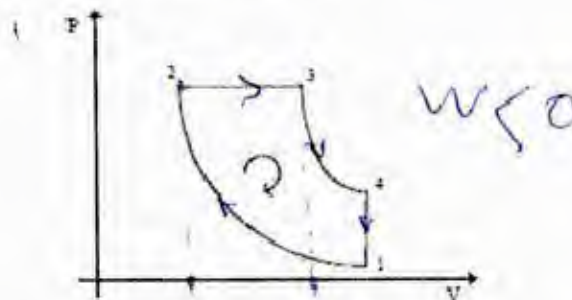
Données :

$C_p = 29 \text{ J.mol}^{-1}\text{K}^{-1}$, $\gamma = 1,4$, $a = 7$ (rapport volumique), $P_A = 10^5 \text{ Pa}$, $P_C = 62 \cdot 10^5 \text{ Pa}$, $P_D = 4,08 \cdot 10^5 \text{ Pa}$

$T_A = 300 \text{ K}$, $T_C = 2,65 \cdot 10^3 \text{ K}$, $T_D = 1,21 \cdot 10^3 \text{ K}$.

Exercice n° 6 : (Samedi)

L'étude porte sur un moteur thermique (**type Diesel**). Chaque transformation est considérée comme réversible. Les trajets 1-2 et 3-4 sont **adiabatiques**.



état 1 : $P_1 = 1 \text{ bar}$, $T_1 = 300 \text{ K}$, état 2 : $\frac{V_1}{V_2} = 14$, état 3 : $T_3 = 1340 \text{ K}$, état 4 : $T_4 = 556 \text{ K}$

Les calculs porteront sur une mole d'air. On donne $\gamma = C_p/C_v = 1,4$ et $C_v = 20,8 \text{ J.mol}^{-1}\text{K}^{-1}$

1°) Calculer la température T_2

2°) Pourquoi T_3 est-elle la température la plus élevée sur le cycle ?

3°) Déterminer la quantité de chaleur échangée par une mole d'air au cours de chaque transformation.

4°) En déduire W_{cycle} .

5°) Déterminer le rendement théorique du moteur.

6°) Le rendement réel n'est que de 0,45. Le fuel utilisé dégage $45 \cdot 10^3 \text{ kJ}$ par litre lors de la combustion.

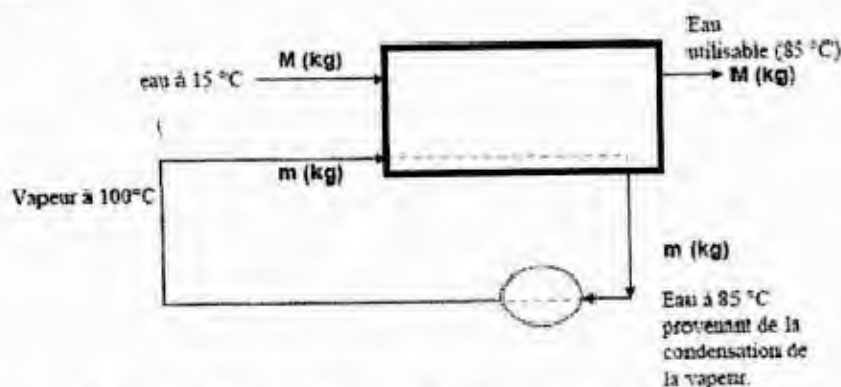
Sachant que ce moteur consomme 1 litre de fuel par heure, calculer le **travail mécanique** qu'il fournit en une heure et sa **puissance mécanique**.

Exercice n° 7 :

Une entreprise doit installer un dispositif de chauffage de l'eau de distribution de la ville. Captée à la température $T_1 = 15^\circ\text{C}$, l'eau doit être livrée à la température finale $T_2 = 85^\circ\text{C}$. Le dispositif est prévu pour réchauffer une masse $M = 1000 \text{ kg}$ d'eau par heure.

On donne la capacité thermique massique de l'eau liquide : $C_p = 4180 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$

Le dispositif de chauffage (voir figure) comporte une chaudière qui produit par heure une masse m de vapeur d'eau à 100°C . Cette vapeur pénètre avec l'eau à réchauffer dans un échangeur supposé parfaitement calorifugé.



- 1°) Calculer la quantité de chaleur Q_{eau} absorbée par 1000 kg d'eau dont la température passe de T_1 à T_2 . Calculer la puissance calorifique reçue par l'eau à réchauffer.
- 2°) La chaleur est fournie par la combustion de fuel dans la chaudière. Chaque kilogramme de fuel brûlé donne une quantité de chaleur de $4,2 \cdot 10^7 \text{ J}$. En supposant le rendement de la chaudière égal à $0,8$, calculer la consommation horaire de fuel.
- 3°) Donner l'expression de la quantité de chaleur Q_1 absorbée par une masse m de vapeur d'eau qui passe de l'état gazeux à l'état liquide. La chaleur de condensation de la vapeur d'eau est $L_c = -2257 \text{ kJ/kg}$.
- 4°) Donner l'expression de la quantité de chaleur Q_2 absorbée par la masse m d'eau provenant de la condensation de la vapeur en passant de la température $T'_1 = 100^\circ\text{C}$ à la température $T'_2 = 85^\circ\text{C}$.
- 5°) On considère le système formé par la masse M d'eau à réchauffer et la masse m de vapeur d'eau. On admet que ce système n'échange pas de chaleur avec l'extérieur (transformation **adiabatique**).
 - a- Ecrire l'équation calorimétrique reliant Q_{eau} , Q_1 et Q_2 .
 - b- En déduire la masse m de vapeur d'eau nécessaire pour faire passer la température de 1000 kg d'eau de 15°C à 85°C .

Remarque : ces exercices et leurs corrigés, peuvent être consultés sur :

<http://www.ac-nancy-metz.fr/enseign/physique/PHYS/Bts-Main/thermo1.htm>

Cours n° 7 : Les machines thermiques dithermes.

SÉRIE n° 3

Exercice 2

(1) On appelle la transformation BC : un réchauffement isochore.

(2) On a : $P_A V_A = n R T_A$

$$n = \frac{P_A V_A}{R T_A}$$

$$n = \frac{10^5 \cdot 10^{-4}}{8,31 \times 300}$$

$$n = 0,004 \text{ mol}$$

$R = ?$

* Selon la relation Mayer :

$$\cancel{3/2 R} \rightarrow C_p - \cancel{C_v} \overset{5/2 R}{=} R \Leftrightarrow \frac{C_p}{C_p} - \frac{C_v}{C_p} = \frac{R}{C_p}$$

$$\Leftrightarrow 1 - \frac{1}{\gamma} = \frac{R}{C_p} \Leftrightarrow \frac{\gamma-1}{\gamma} = \frac{R}{C_p}$$

$$\Leftrightarrow R = \frac{(\gamma-1) C_p}{\gamma}$$

$$R = \frac{(1,4-1) \cdot 29}{1,4} = \frac{0,4}{1,4} \cdot 29$$

$$R = 8,28$$

(3) $A \rightarrow B$: détente adiabatique.

$$P_A V_A^\gamma = P_B V_B^\gamma \Leftrightarrow P_B = \left(\frac{V_A}{V_B} \right)^\gamma P_A = \left(\frac{V_A}{2 V_A} \right)^\gamma P_A = \frac{10^5}{2^{1,4}} = 3,8 \cdot 10^4 \text{ Pa} = P_B$$

$$T_A V_A^{\gamma-1} = T_B V_B^{\gamma-1} \Leftrightarrow T_B = \left(\frac{V_A}{V_B} \right)^{\gamma-1} T_A = \frac{300}{2^{0,4}} = 229 \text{ K} = T_B$$

* $B \rightarrow C$: réchauffement isochore : $v_C = v_B$

1^{ère} méthode :

$$P_C V_C = n \left(\frac{\gamma-1}{\gamma} C_p \right) T_C$$

$$\Leftrightarrow P_C = \frac{0,004 \cdot T_A \cdot R}{V_C / V_B} = \frac{0,004 \times 8,28 \times 300}{2 \cdot 10^{-4}}$$

$$P_C \approx 49860 \text{ Pa}$$

$$P_C = 49680 \text{ Pa}$$

2^{ème} méthode

$B \rightarrow C$: $v = \text{cte}$

$$\frac{T_C}{T_B} = \frac{P_C}{P_B} \Leftrightarrow P_C = \frac{T_C P_B}{T_B}$$

avec $T_C = T_A$

$$P_C = \frac{T_A \cdot P_B}{T_B} = 49870 \text{ Pa}$$

$$P_C = 49781 \text{ Pa}$$

(4) $Q_{BC} + W_{BC} = \Delta U_{BC}$

$$Q_{BC} = \Delta U_{BC}$$

(avec $W_{BC} = 0$)

$$= n C_v dT = 0,004 \times$$

$$\left(\text{avec } C_v = \frac{C_p}{1,4} = 20,71 \right)$$

$$= 0,004 \times 20,71 (T_C - T_B) = 0,08 \times (300 - 229)$$

$$Q_{BC} = 5,88 \text{ J} \approx 6 \text{ J}$$

⑤ Selon le 1^{er} principe:

$$\Delta U_{\text{cyc}} = W_{\text{cyc}} + Q_{\text{cyc}}$$

avec $W_{\text{cyc}} + Q_{\text{cyc}} = 0$

$$W_{AB} + W_{BC} + W_{CA} = -Q_{AB} - Q_{BC} - Q_{CA}$$

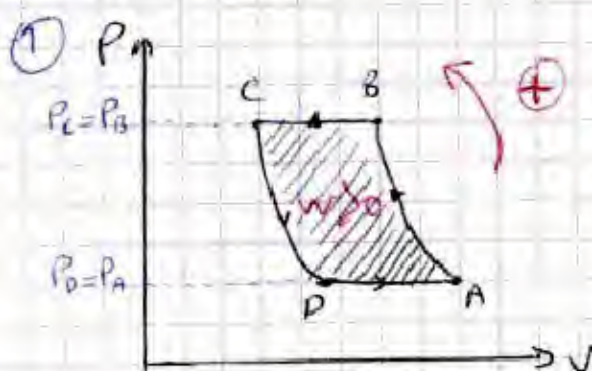
$$W_{AB} = -W_{CA} - Q_{BC} - Q_{CA}$$

$$= -Q_{BC} - (W_{CA} + Q_{CA})$$

$$= -Q_{BC} - \underbrace{\Delta U_{CA}}_{=0} \quad \left(\text{car } \Delta U_{CA} = m C_V (T_A - T_C) \right)$$

$$W_{AB} = -6 \text{ J}$$

Exercice 4



$A \rightarrow B$ $P \uparrow V \downarrow$	$B \rightarrow C$ $Q_{BC} = 0 < 0$
$B \rightarrow C$ $P = \text{cte}$	$Q_{BC} = m C_p (T_C - T_B) < 0$
$C \rightarrow D$ $P \downarrow V \uparrow$	$T_C - T_B < 0$
$D \rightarrow A$ $P = \text{cte}$	$T_C < T_B$

$\Rightarrow T \downarrow$
 $\frac{U}{T} = \text{cte}$
 $\Rightarrow N \downarrow$

② $P_A V_A = n R T_A$ avec $R = \left(\frac{\gamma - 1}{\gamma} \right) C_p$

$$V_A = \frac{\left(\frac{\gamma - 1}{\gamma} \right) C_p T_A}{P_A}$$

$$R \approx 8,31$$

$$T_A = 298 \text{ K}$$

$$T_A = 25 + 273 = 298 \text{ K}$$

$$V_A = \frac{0,4 \cdot 29,1 \cdot 298}{10^5}$$

$$V_A = 0,024 \text{ m}^3$$

* $A \rightarrow B$: compression adiabatique

$$P_A V_A^\gamma = P_B V_B^\gamma \Leftrightarrow P_B = \left(\frac{P_A}{V_B^\gamma} \right) V_A^\gamma$$

$$V_B = \left(\frac{P_A}{P_B} \right)^{\frac{1}{\gamma}} \cdot V_A = \left(\frac{10^5}{2 \cdot 10^5} \right)^{\frac{1}{1,4}} \cdot 0,024 = \frac{0,014}{2,2971}$$

$$V_B = 0,0137 \approx 13,7 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \approx 14,12 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 = 0,014 \text{ m}^3 = V_B$$

③ * $T_A V_A^{\gamma-1} = T_B V_B^{\gamma-1} \Leftrightarrow T_B = \left(\frac{V_A}{V_B} \right)^{\gamma-1} \cdot T_A = \left(\frac{0,024}{0,014} \right)^{0,4} \cdot 298$

$$T_B = 389,3 \text{ K}$$

* $C \rightarrow D$: adiabatique

$$T_C P_C^{\frac{1}{\gamma}} = T_D P_D^{\frac{1}{\gamma}} \Leftrightarrow T_D = \left(\frac{P_C}{P_D} \right)^{\frac{1}{\gamma}} T_C$$

$$\Leftrightarrow T_D = \left(\frac{P_B}{P_A} \right)^{\frac{1}{\gamma}} T_C$$

$$\Rightarrow T_D = \left(\frac{P_D}{P_A}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \cdot T_C = \left(\frac{2,2 \cdot 10^5}{10^5}\right)^{\frac{1,4-1}{1,4}} \cdot 340 \quad (T_C(K) = 67 + 273 = 340 K)$$

$$T_D = (2,2)^{\frac{0,4}{1,4}} \cdot 340 = (2,2)^{-0,28} \cdot 340 = \boxed{421,6 \text{ K} = T_D} \quad 272,6 \text{ K}$$

$$\textcircled{4} \quad Q_2 = Q_{BC} = m C_p \Delta T = 29,1 (T_C - T_B) = 29,1 (340 - 369,3) \\ = 29,1 \cdot (-29,3) = -852,63 \text{ J}$$

$$Q_1 = Q_{DA} = m C_p (T_A - T_D) = 29,1 (298 - 421,6) = 29,1 \cdot (-123,6)$$

$$Q_2 = -3596,76 \text{ J}$$

$$\bullet W_{cyc} = \Delta U - Q_{cyc} = \Delta U - Q_1 - Q_2 \\ = m C_v$$

⑤

Ex 6

$$\textcircled{1} \quad \text{On a } 1 \rightarrow 2: \text{ adiabatique. } \Rightarrow T_1 V_1^{\gamma-1} = T_2 V_2^{\gamma-1}$$

$$\Rightarrow T_2 = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{\gamma-1} T_1 = (14)^{0,4} \cdot 300$$

$$T_2 = 862,12 \text{ K}$$

$$\textcircled{2} \quad \text{On sait que le trajet } 1 \rightarrow 2 \text{ est adiabatique } \Rightarrow Q_{12} = 0$$

$$\text{On a : } 2 \rightarrow 3 \text{ isobare. } \Rightarrow Q_{23} = m C_p (T_3 - T_2)$$

$$Q_{23} = \gamma C_v (1340 - 862,12)$$

$$= 1,4 \times 20,8 (477,88)$$

$$= 13915 \text{ J} = 13,9 \text{ KJ.}$$

$$\text{Avec: } \gamma = \frac{C_p}{C_v} \Rightarrow C_p = \gamma C_v$$

$$\bullet Q_{34} = 0 \quad \text{car } 3 \rightarrow 4 \text{ est une transformation adiabatique.}$$

$$\bullet Q_{41} = m C_v (T_1 - T_4) \quad 4 \rightarrow 1: \text{ isochore.}$$

$$= 20,8 (556 + 300)$$

$$= -5524,8 \text{ J} = -5,3 \text{ KJ.}$$

$$\textcircled{4} \quad \text{On a selon le 1^{er} principe: } W_{cyc} + Q_{cyc} = 0$$

$$W_{cyc} = - (Q_{12} + Q_{23} + Q_{34} + Q_{41})$$

$$= - (0 + 13,9 - 5,3) \text{ KJ}$$

$$W_{cyc} = -8,6 \text{ KJ}$$

$$(5) \eta = \left| \frac{W_{\text{cyc}}}{Q_{23}} \right| = \left| \frac{-8,5}{13,9} \right| = 0,61$$

(6) Le moteur consomme 1 litre par 1 heure.

$$Q_{23} = 1 \times 45,10^3 \text{ kJ}$$

$$\eta = 0,45 \Rightarrow W = Q_{23} \cdot \eta$$

$$P = \frac{|W|}{\Delta t} = 5625 \text{ (W)}$$

Ex 7

(2) L'air est un gaz parfait $\Rightarrow PV = nRT \Rightarrow T = \frac{PV}{nR} = \frac{PV}{\text{cste}}$ *

D'après * $T_2 < T_3$ car $(P_2 = P_3 \text{ et } V_2 < V_3)$

On montre que $T_3 > T_4$

On a la transformation 3-4 adiabatique.

$$T_3 V_3^{\gamma-1} = T_4 V_4^{\gamma-1} \text{ (car } V_4 > V_3) \Rightarrow V_4^{\gamma-1} > V_3^{\gamma-1}$$

Alors: $T_3 > T_4$

$\rightarrow T_3$ est la température maximale dans le cycle.

Ex 7

$$(1) Q_{\text{eau}} = M C_p \Delta T = 1000 \times 4180 (85-15) = 4180000 (70) \\ = 292,6 \cdot 10^6 \text{ J}, \quad P = \frac{Q_{\text{eau}}}{\Delta t} = 81,2 \text{ Kw}$$

(2) Il faut que la chaudière cède

$$Q_{\text{chaud}} = \frac{W}{\eta} = \frac{Q_{\text{eau}}}{\eta} = 365,75 \text{ kJ}$$

Donc en 1 heure il faut brûler $\dots = \frac{Q_{\text{chaud}}}{4,2 \cdot 10^4} = 8,7 \text{ Kg}$

(3) $Q_1 = m L_c$ (L_c est négative, car cette chaleur sera rejetée)

$$(4) Q_2 = -m C_p (T_2' - T_1')$$

Cette chaleur n'est pas absorbée, mais rejetée par l'eau de la chaudière

$$Q_2 < 0 \text{ car } T_2' < T_1'$$

$$m L_c + m C_{p,\text{eau}} (T_2' - T_1') = -Q_{\text{eau}}$$

(5) a/ La relation entre Q_1, Q_2, Q_{eau}

$$m (L_c + C_p (T_2' - T_1')) = -Q_{\text{eau}}$$

$Q_{\text{systeme}} = 0$ (adiabatique)

$$Q_1 + Q_2 + Q_{\text{eau}} = 0$$

$$m L_c + m C_{p, \text{ice}} (T_2' - T_1') = -Q_{\text{ice}}$$

$$m (L_c + C_p (T_2' - T_1')) = -Q_{\text{ice}}$$

(b) - - -





ETU SUP.com

Programmmation
Cours
Electricité
Physique
Résumés
Analyse
Livres
Exercices
Contrôles Continus
Langues
Thermodynamique
Multimedia
Divers
Economie
Travaux Dirigés
Chimie Organique
Informatique
Optique
Chimie
Algèbre
Corrigés
Mathématiques
Mécanique
Travaux Pratiques
Droit

et encore plus..